

ISBN 85-297-0023-6
ISSN 0100-9443

Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte - CNPGC

Campo Grande, MS

ENXOFRE NO SISTEMA SOLO-PLANTA-ANIMAL

Campo Grande, MS
1994

ISBN 85-297-0023-6

ISSN 0100-9443



**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO ABASTECIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA
Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte-CNPGC
Campo Grande, MS**

ENXOFRE NO SISTEMA SOLO-PLANTA-ANIMAL

**Paulo José Ramos Paiva
Maria Luiza Franceschi Nicodemo**

**Campo Grande, MS
1994**

EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 56

Exemplares desta publicação podem ser solicitados ao:

CNPGC

Rodovia BR 262, km 4

Telefone: (067) 763-1030

Telex: (067) 2153

FAX: (067) 763-2245

Caixa Postal 154

CEP 79002-970 Campo Grande, MS

Tiragem: 235 exemplares

COMITÊ DE PUBLICAÇÕES

Ecila Carolina Nunes Zampieri Lima - Editoração

Fernando Paim Costa

Francisco Humberto Dübbern de Souza

João Cândido Abella Porto

José Antônio Paim Schenk

José Raul Valério

Kepler Euclides Filho - Presidente

Maria Antônia U. C. de Oliveira Santos - Normalização

Maria Aparecida Moreira Schenk - Secretária Executiva

Composição: Marcos Paredes Martins

PAIVA, P.J.R.; NICODEMO, M.L.F. Enxofre no sistema solo-planta-animal. Campo Grande : EMBRAPA-CNPGC, 1993. 45p. (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 56).

1. Enxofre. 2. Solo-Planta-Animal. 3. Planta-Nutrição. I. Nicodemo, M.L.F. II. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (Campo Grande, MS). III. Título. IV. Série.

CDD 631.41

SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO	5
2 DINÂMICA DO ENXOFRE NO SOLO	6
2.1 Enxofre total e orgânico	6
2.2 Mineralização	7
2.3 Adsorção	9
2.4 Lixiviação	10
2.5 Oxidação e redução	11
3 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE NO SOLO	12
3.1 Considerações gerais	12
3.2 Métodos de determinação de enxofre	13
3.3 Nível crítico de enxofre no solo	15
4 ENXOFRE NA NUTRIÇÃO DA PLANTA E DO ANIMAL	16
5 DIAGNOSE DE ENXOFRE EM FORRAGEIRAS	19
6 ENXOFRE NA NUTRIÇÃO ANIMAL	24
7 RESPOSTAS DE FORRAGEIRAS À APLICAÇÃO DE ENXOFRE	26
7.1 Gramíneas	26
7.2 Leguminosas	30
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

ENXOFRE NO SISTEMA SOLO-PLANTA-ANIMAL

Paulo José Ramos Paiva¹
Maria Luiza Franceschi Nicodemo²

1 INTRODUÇÃO

A essencialidade do enxofre na nutrição das plantas é conhecida desde os tempos de Liebig. A principal função deste macronutriente está associada com a síntese e metabolismo do nitrogênio.

A dinâmica do enxofre no solo envolve reações de oxidação-redução, mineralização e imobilização, e adsorção de sulfato(s) nos colóides do solo. A complexidade destas transformações torna difícil a avaliação da disponibilidade de S para as plantas.

Alguns trabalhos têm enfatizado que os solos da região Central do Brasil são originalmente deficientes em enxofre. A exploração e o manejo a que são submetidos estes solos vêm agravando este problema, cuja tendência é de intensificação com o decorrer do tempo. Dentre os aspectos do manejo do solo e das culturas que estão relacionados com a intensificação deste problema destacam-se: a utilização de fórmulas de adubos concentrados e de inseticidas e fungicidas que não contêm S e a maior extração deste nutriente através de produções elevadas obtidas pelo emprego de variedades melhoradas.

Em pastagens, o efeito da deficiência de enxofre ocorre de forma generalizada, principalmente no Brasil Central Pecuário. Esta deficiência, além de reduzir a produção de matéria seca das forrageiras, acarreta desbalanços nutricionais nos animais que se alimentam destas plantas.

¹Eng.-Agr., M.Sc., Pesquisador visitante com bolsa DR do CNPq.

²Zoot., M.Sc., CRMV-MS Nº 100-Z, EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC), Caixa Postal 154, CEP 79002-970 Campo Grande, MS.

A correção da deficiência de enxofre pode ser feita diretamente pela adubação ou por meio de práticas que visem aumentar a disponibilidade desse nutriente, como a rotação de pastagens com culturas. Para isto, são necessários conhecimentos básicos que permitam fundamentar as recomendações. Neste sentido, será abordado no presente trabalho, o comportamento do enxofre no solo, na planta e algumas implicações desses processos no rendimento e desempenho do animal.

2 DINÂMICA DO ENXOFRE NO SOLO

A dinâmica do enxofre no solo apresenta aspectos comuns à de nitrogênio. A maior parte de N e de S é encontrada na matéria orgânica do solo, e portanto, a mineralização influencia sobremaneira a disponibilidade destes nutrientes que estão sujeitos a transformações de oxi-redução e a expressivas perdas por lixiviação. O enxofre, no entanto, pode ser adsorvido pelos colóides do solo na forma de sulfato, que está em rápido equilíbrio com a solução do solo.

2.1 Enxofre total e orgânico

O teor de enxofre total varia amplamente com o tipo de solo. Os solos de Iowa, nos EUA por exemplo, apresentam uma faixa de variação compreendida entre 57 e 618 ppm, com uma média de 294 ppm de S (Tabatabai & Bremner 1972b). Bettany et al. (1973) verificaram também nos EUA, teores relativamente maiores de enxofre total, com variações de 88 a 760 ppm, e uma média de 284 ppm.

Os solos das regiões tropicais apresentam, em geral, teores de enxofre total menores que os de regiões temperadas. No Estado do Rio Grande do Sul, Nascimento & Morelli (1980) encontraram uma variação de 37 a 409 ppm de S, e uma média de 235 ppm.

A maior parte do enxofre encontra-se na matéria orgânica do solo, chegando a atingir de 95 a 98% de enxofre total (Tabatabai & Bremner 1972b). No entanto, segundo Fassbender (1975), o teor de enxofre orgânico pode variar entre 60 e 90% do teor de enxofre total. Este, por sua vez, é diretamente proporcional ao teor de carbono e nitrogênio orgânico, indicado por correlações positivas entre estes parâmetros (Bettany et al. 1973, Tabatabai & Bremner 1972b, Nascimento & Morelli 1980).

A estreita ligação entre C orgânico e o S sugere uma relação C/S relativamente constante em solos de diferentes regiões climáticas, o que, entretanto, não é observado. Biederbeck (1978) apresenta valores para relação C/S variando de 57 a 271. Esta variação expressiva entre solos de diferentes regiões pode ser atribuída aos processos de mineralização de carbono e enxofre. Segundo Bettany et al. (1973), a taxa de mineralização de carbono não é proporcional à de enxofre, apesar das similaridades entre os dois processos.

O enxofre ligado à matéria orgânica pode ocorrer basicamente em três frações ou formas (Neptune et al. 1975, Biederbeck 1978): a) compostos com ligação C-S-O (sulfato ligado ao carbono, formando ésteres de sulfato); b) compostos de enxofre ligados ao carbono (C-S); c) enxofre inerte ou residual (S em compostos não identificados).

O enxofre na forma de sulfato orgânico é extraído pela redução a ácido sulfídrico (H_2S) por ácido iodídrico (HI) e é também chamado de enxofre reduzível (Tabatabai & Bremner 1972b). As frações ou componentes da matéria orgânica apresentam diferentes proporções das diversas formas de enxofre. Os ácidos fúlvicos (compostos de baixo peso molecular) contêm maior porcentagem de enxofre reduzível do que os ácidos húmicos e a humina (Bettany et al. 1973).

2.2 Mineralização

O enxofre orgânico e o total não são parâmetros adequados para se avaliar a disponibilidade desse nutriente às plantas, a curto prazo, pois as raízes das plantas absorvem o enxofre na forma inorgânica, principalmente o sulfato e não existem correlações entre este e os teores de enxofre orgânico e total (Tabatabai & Bremner 1972b, Nascimento & Morelli 1980).

O processo de mineralização de enxofre, que consiste na transformação do enxofre orgânico em inorgânico pela ação de microrganismos, é de crucial importância no controle da disponibilidade de enxofre (Harward et al. 1962). Este processo é influenciado por vários fatores: componentes da matéria orgânica, temperatura, pH, umidade, aeração e disponibilidade de nutrientes para microrganismos (Tabatabai & Al-Khafaji 1980).

As taxas de mineralização de enxofre no solo não se correlacionam com os teores de S, C e N orgânico. Portanto, solos com altos teores de matéria orgânica e de enxofre orgânico não apresentam necessariamente altas taxas de mineralização e de disponibilidade de enxofre.

O enxofre reduzível é mais instável na matéria orgânica e, por conseguinte, é rapidamente mineralizado. Isto indica que as frações ou componentes da matéria orgânica apresentam taxas diferentes de mineralização. Os ácidos fúlvicos liberam enxofre inorgânico mais rapidamente que os ácidos húmicos e a humina, devido ao maior teor de enxofre reduzível (Bettany et al. 1973).

A relação C/S de resíduos orgânicos adicionados e/ou incorporados ao solo afeta a mineralização e imobilização de enxofre. Resíduos com largas relações C/S podem provocar um predomínio do processo de imobilização, que consiste na assimilação de enxofre do solo por microrganismos responsáveis pela decomposição de matéria orgânica, resultando em decréscimo da disponibilidade de enxofre para as plantas. Stewart et al. (1966) verificaram que resíduos orgânicos com relação C/S de 350, quando incorporados ao solo, reduzem o crescimento de trigo em casa de vegetação, possivelmente pela imobilização do enxofre do solo.

Os principais fatores que influenciam o processo de mineralização de enxofre, em solos de região temperada, são a temperatura e o pH. Tabatabai & Al-Khafaji (1980) observaram que, a uma temperatura de 20°C, as quantidades médias de enxofre mineralizadas corresponderam a 7,8% do total do enxofre orgânico, enquanto que, à temperatura de 35°C, foi mineralizado em média 22,8% do enxofre orgânico, durante seis meses, em casa de vegetação.

O pH do solo é um importante fator no controle da mineralização de enxofre, devido ao seu efeito marcante na população e na atividade de microrganismos. A faixa mais favorável à mineralização da matéria orgânica encontra-se próxima à neutralidade (Costa 1980). O mesmo efeito é proporcionado pela aeração e umidade. A mineralização é maior em condições de aerobiose e em solo com umidade equivalente a 60-80% da capacidade de campo (Alexander 1977).

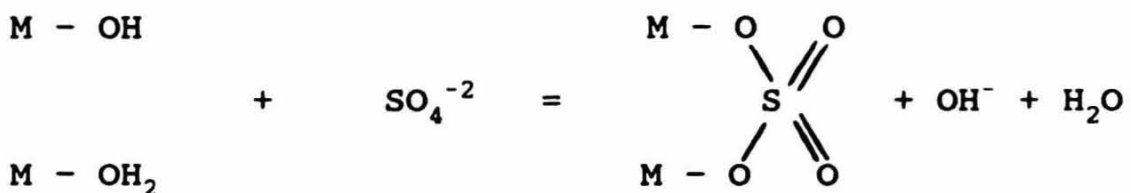
O processo de mineralização de enxofre é similar ao de mineralização de nitrogênio (e era de se esperar que estes processos fossem correlacionados com o enxofre). No entanto, Tabatabai & Al-Khafaji (1980) não encontraram correlações entre a relação N/S de diversos solos e a

relação N/S mineralizado. Segundo os autores, apesar das semelhanças entre os processos de mineralização de nitrogênio e enxofre, eles não são processos metabólicos paralelos, uma vez que estes nutrientes não ocorrem nos mesmos componentes ou frações da matéria orgânica, e portanto, não são colocados na mesma taxa; e ainda, a adição de resíduos de plantas e animais com maior relação C/N proporcionalmente à relação C/S pode causar maior imobilização de enxofre que do nitrogênio.

2.3 Adsorção

A adsorção dos íons sulfato (SO_4^{-2}) é um fenômeno de superfície associado à fase sólida do solo. Os óxidos de ferro e alumínio são os principais constituintes de fase sólida do solo responsáveis pela adsorção (Chao et al. 1964).

A adsorção ocorre através do deslocamento dos íons OH pelo SO_4 de dois adjacentes MOH, formando um complexo de ligação binuclear M-O-SO₂-O-M, conforme representado na equação abaixo (Parfitt & Smart 1978):



O processo é similar à adsorção de fosfatos, no entanto a capacidade ou a intensidade de adsorção de sulfato é muito menor, ou seja, o fosfato é mais fortemente retido nas superfícies do colóide e em maior quantidade que o sulfato (Chao et al. 1964).

O processo de adsorção de sulfato constitui-se num rápido equilíbrio entre a fase sólida e a solução do solo, sendo considerado um importante fator controlador da disponibilidade de enxofre (Barrow 1969).

Os principais fatores que influenciam a adsorção de sulfato são: pH do solo, o tipo e o teor de minerais, a competição com outros ânions pelos sítios de adsorção e o tipo de cátion na solução e no complexo de troca do solo. A adsorção é também dependente da concentração de sulfato na solução (Costa 1980).

Os óxidos de Fe e Al e as argilas do tipo 1:1 (caulinita) são os constituintes do solo que têm maior capacidade de adsorção de sulfato. Os solos de regiões

tropicais apresentam maiores teores destes constituintes, devido à maior intemperização e, por conseguinte, têm uma expressiva capacidade de adsorção de sulfato, o que não ocorre com os solos de região temperada (Tabatabai & Bremner 1972a). Os óxidos de alumínio são mais eficientes na adsorção de sulfato que os óxidos de ferro em uma mesma faixa de pH.

O pH do solo tem efeito marcante sobre a adsorção de sulfato. O aumento do pH do solo, pela calagem, diminui a adsorção de sulfato e maiores quantidades desse ânion passam para a solução do solo. Elkins & Ensminger (1971) verificaram que, aumentando o pH de 5,0 para 7,6, o teor de sulfato na solução do solo era acrescido de cerca de 17 vezes. Segundo Chao et al. (1964), a níveis elevados de pH, há o aumento da concentração de íons OH^- , os quais deslocam os íons SO_4^{-2} , competindo pelos sítios de adsorção nos colóides do solo.

Os ânions sulfato na solução ficam sujeitos a perdas do solo por lixiviação. Este efeito depende, entre outros fatores, da magnitude da concentração de sulfato na solução.

A afinidade ou intensidade de adsorção de ânions pelos colóides do solo pode ser assim representada: fosfato > sulfato = acetato > nitrato = cloreto. O íon fosfato desloca o sulfato dos colóides do solo e pode ser usado como extrator de enxofre em determinações analíticas (Chao et al. 1964).

A concentração e o tipo de cátion predominante na solução influem na adsorção do SO_4^{-2} . Chao et al. (1964) verificaram que a adsorção depende do cátion acompanhante na ordem: $\text{CaSO}_4 > \text{K}_2\text{SO}_4 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4$. A predominância de determinado tipo de cátion no complexo de troca também influencia a adsorção, na seguinte ordem: solo saturado com Al > solo saturado com Ca > solo saturado com K > solo saturado com Na. Estes comportamentos devem estar relacionados com o grau de interação dos cátions com as superfícies de troca, o qual é dependente da sua valência.

2.4 Lixiviação

O processo de lixiviação de enxofre na forma de sulfato é bastante intenso, resultando em acúmulo de sulfato nas camadas subsuperficiais, onde o teor de S-SO_4^{-2} é maior que na camada superficial (Tabatabai & Bremner, 1972a).

A magnitude da lixiviação de $S-SO_4$ em dado solo depende diretamente do volume de água que se movimenta verticalmente pelo perfil. Em regiões de intensa precipitação pluvial, constataram-se menores teores de S disponível no solo, devido às perdas por lixiviação (Barrow 1969).

A capacidade de adsorção de sulfato dos solos influencia sobremaneira a extensão das perdas de enxofre por lixiviação. Nos solos com apreciável capacidade de adsorção, o processo de lixiviação é menos intenso (Ritchey et al. 1980).

O manejo do solo também influencia a lixiviação de $S-SO_4$. A calagem e a fosfatagem acarretam o deslocamento de $S-SO_4$ para solução do solo, onde fica sujeito à lixiviação (Bissani & Tedesco 1988).

O $S-SO_4$ é deslocado pelo perfil do solo juntamente com cátions acompanhantes Ca, Mg e K. A aplicação de enxofre na forma de gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) acarreta a movimentação de bases para as camadas subsuperficiais do solo (Ritchey et al. 1980, Quaggio et al. 1982, Dias et al. 1984, Rosolem & Machado 1984). A gessagem ainda tem um efeito corretivo sobre a toxicidade de Al em profundidade, pela formação do composto $AlSO_4^+$ não tóxico, e redução da porcentagem de saturação de alumínio (Pavan & Volkweiss 1986).

2.5 Oxidação e redução

A especificidade de atuação de grupos de microrganismos em oxidação ou redução de S depende principalmente das condições ambientais (aeróbicas ou anaeróbicas), com variação do estado de oxidação do S. Algumas espécies de microrganismos, como a bactéria *Thiobacillus denitrificans*, oxidam formas reduzidas a sulfato mesmo em condições de anaerobiose (Tabatabai 1986).

Em regiões onde indústrias queimam produtos contendo enxofre, o dióxido de enxofre (SO_2) é liberado para atmosfera e muito deste gás retorna ao solo através das chuvas (Tisdale & Nelson 1975). Assim, esse composto pode ser absorvido pelas plantas e resultar em menor ocorrência de deficiência de enxofre nestas regiões.

3 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE NO SOLO

3.1 Considerações gerais

O teor de enxofre disponível no solo sofre influência de fatores como: as adições resultantes de precipitações atmosféricas, a velocidade de mineralização da matéria orgânica e a extensão das perdas por lixiviação (Harward & Reisenauer 1966). A determinação da disponibilidade de enxofre no solo é dificultada em razão da multiplicidade de fontes de S e da contribuição variável de cada uma delas. Estas fontes incluem o S do solo, das chuvas e águas de irrigação e dos fertilizantes e pesticidas.

A disponibilidade de um nutriente depende da inter-relação entre os fatores: quantidade (Q), que mede a reserva lábil do nutriente na fase sólida do solo para as culturas; intensidade (I), que mede o nutriente na solução; e a capacidade de reposição do nutriente da reserva lábil para a solução (capacidade tampão, CT). Também existe uma reposição mais lenta, entre as formas não lábeis e lábeis de um nutriente (Alvarez 1988).

A quantidade de enxofre presente no solo, determinada por extratores químicos (S extraível), que está associada ao fator Quantidade, não é suficiente para prever a disponibilidade deste nutriente para as plantas, a qual também é sensivelmente influenciada pela habilidade do solo em adsorver sulfato, processo relacionado ao fator Capacidade Tampão (Fontes et al. 1982a).

A absorção de enxofre e o crescimento das plantas pode ser similar em solos com diferentes teores de enxofre extraível. Em solos com baixa capacidade de adsorção de sulfato, os teores de enxofre presentes devem ser superiores aos solos com alta capacidade de adsorção para que o crescimento e a produção das plantas sejam semelhantes. Portanto, a determinação destes dois aspectos juntamente, concorre para uma avaliação mais acurada da disponibilidade de S (Barrow 1969).

Em solos com apreciável capacidade de adsorção de sulfato, a taxa de absorção de S pelas plantas é menor que em solos com reduzida capacidade de adsorção, no entanto o suprimento de S é mais prolongado e constante naqueles solos. Isto ocorre devido ao S estar fracionado entre a fase sólida e líquida em solos que adsorvem sulfato, sendo transferido para solução do solo gradativamente (Barrow 1969).

3.2 Métodos de determinação de enxofre

A avaliação da disponibilidade de enxofre através de extratores químicos baseia-se na idéia de se remover teores de nutrientes proporcionais à quantidade que a planta absorveria do solo. Após a extração do nutriente do solo, é feita a determinação analítica ou dosagem. No caso do S, a dosagem do SO_4^- no extrato é feita pelo método da turbidimetria, onde o sulfato é precipitado na forma de BaSO_4 e mantido em suspensão cuja densidade óptica (turbidez) é medida em colorímetros e espectrofotômetros (Chesnin & Yen 1950).

Vários métodos e diversos extratores têm sido propostos para avaliação de enxofre do solo. Os esforços têm se concentrado na determinação do S- SO_4 , uma vez que o S total do solo, normalmente, não é uma estimativa eficiente da disponibilidade imediata de S para as plantas (Hoeft et al. 1973).

Segundo Reisenauer et al. (1973) citado por Alvarez (1988), o enxofre removido por esses extratores reúne-se em três grupos:

- a) sulfato prontamente solúvel;
- b) sulfato solúvel e parte do adsorvido e;
- c) sulfato solúvel, parte do adsorvido e parte do S orgânico.

O sulfato prontamente solúvel pode ser extraído com água e soluções extratoras com ânions que não conseguem deslocar o SO_4 adsorvido, como as soluções de LiCl e CaCl_2 .

As soluções extratoras que removem apenas o S- SO_4 da solução do solo não são adequadas para estimar a disponibilidade de enxofre em solos que adsorvem quantidades apreciáveis de enxofre (Fox et al. 1964).

O sulfato solúvel e parte do adsorvido são extraídos pelas soluções básicas como KH_2PO_4 e $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, ambos contendo 500 ppm de P; e solução neutra de NH_4OAc .

Fox et al. (1964) verificaram que a solução de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ é mais conveniente que a solução de KH_2PO_4 , pois esta dispersa a amostra de solo, dificultando a obtenção de um extrato límpido, mesmo através da filtração e centrifugação, o que não ocorre com o extrator de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

A solução extratora de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ foi a mais eficiente na avaliação da disponibilidade de enxofre, removendo quantidades de enxofre do solo que se correlacionaram com a porcentagem de enxofre em alfafa ao primeiro corte, conforme observado por Hoeft et al. (1973). Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Fontes et al. (1982a), quando constataram que a solução de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ mostrou-se mais eficiente na avaliação de enxofre que o reagente de Morgan ($\text{NaOAc} + \text{HOAc}$), desenvolvido por Chesnin & Yen (1950).

O extrator de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ remove maiores quantidades de S-SO_4 adsorvido, de modo a representar de forma mais efetiva a quantidade de enxofre disponível para as plantas (Fontes 1979). Isto ocorre devido ao ânion fosfato que desloca facilmente o S-SO_4 do complexo de troca, por ser preferencialmente adsorvido. Já a solução extratora de acetato de amônio (NH_4OAc), segundo Bardsley & Kilmer (1963), não foi muito adequada para avaliar o enxofre e apresentou um coeficiente de correlação de apenas 30% na previsão de resposta à aplicação de enxofre.

No grupo dos extratores que removem o sulfato solúvel, o adsorvido e parte do S orgânico, estão: o bicarbonato de sódio (NaHCO_3), as soluções de fosfato de cálcio em ácido acético, solução de Morgan ($\text{NaOAc} + \text{HOAc}$) e $\text{NH}_4\text{OAc} + \text{HOAc}$, entre outras.

A solução 0,5 M de NaHCO_3 pH 8,5 foi sugerida por Kilmer & Nearpass (1960) e tida como satisfatória por Bardsley & Kilmer (1963). Entretanto, Hoeft et al. (1973) obtiveram maiores coeficientes de correlação para enxofre adsorvido, produção vegetal e melhor equação de previsão de resposta à aplicação de enxofre para a solução extratora $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 - \text{HOAc}$ quando comparada à solução de NaHCO_3 . Esta solução, que também extrai parte do S orgânico, foi tida como a mais eficiente na avaliação do S disponível, do que vários extratores, entre eles: fosfato de cálcio em água, reagente de Morgan, fosfato de potássio, acetato de amônio, cloreto de cálcio (Fox et al. 1964, Hoeft et al. 1973, Fontes et al. 1982a).

O uso de uma fração designada de "enxofre de reserva" como indicação do "status" do S no solo foi proposto por Bardsley & Lancaster (1960). Esta fração é constituída essencialmente pelo S orgânico total e o S orgânico reduzido. A determinação baseia-se na oxidação desta fração de S à sulfato através de ignição da mistura do solo com NaHCO_3 a 500°C e o sulfato solúvel é, então,

extraído com uma solução de NaH_2PO_4 em HOAc . Segundo Bardsley & Kilmer (1963), o enxofre de reserva não é adequado para prever a disponibilidade de enxofre a curto prazo, no entanto, é útil para avaliar o potencial de suprimento de enxofre dos solos a longo prazo.

3.3 Nível crítico de enxofre no solo

A interpretação dos resultados de análise de solo é baseada em estudos de calibração que determinam o nível crítico do nutriente no solo e estabelecem classes de teores: baixo, médio, alto. O nível crítico de um nutriente é definido como o teor do nutriente no solo abaixo do qual o crescimento e a produção das plantas são limitados e, por conseguinte, a adubação tem grande probabilidade de aumentar a produção.

A determinação de níveis críticos é feita através de trabalhos que correlacionam o teor do nutriente no solo com a produção relativa (produção sem enxofre/produção máxima observada $\times 100$). Os níveis críticos podem ser obtidos pelo método gráfico proposto por Cate & Nelson (1971), ou considerando o teor do nutriente no solo correspondente a uma produção relativa de 90%.

São poucos os trabalhos de calibração de enxofre que determinam níveis críticos, sendo a grande maioria conduzida em casas de vegetação. Kilmer & Neary (1960) encontraram, para o algodão, o nível crítico de 10 ppm, usando o extrator NaHCO_3 pH 8,5 nos solos do sudoeste dos Estados Unidos. Fox et al. (1964) encontraram níveis críticos de 8 a 10 ppm para o milho e a alfafa, respectivamente. Hoeft et al. (1973) encontraram uma faixa de nível crítico de S para alfafa de 6 a 10 ppm para o extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

Fontes et al. (1982b), trabalhando com Latossolos, verificaram uma faixa de variação de níveis críticos compreendida entre 6 e 14 ppm para o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ com o sorgo granífero. Esta faixa de variação é semelhante à obtida por Reisenauer et al. (1973), citado por Alvarez (1988), de 6 a 14 ppm de S.

A variação dos níveis críticos com o tipo de solo está associada à capacidade de adsorção de S-SO_4 . Solos com menor capacidade de adsorção apresentam níveis críticos mais elevados, portanto, o valor do nível crítico não deve ser encarado como uma constante para todos os solos, mas variando em função de parâmetros que refletem o fator capacidade para o elemento (Fontes et al. 1982b).

4 ENXOFRE NA NUTRIÇÃO DA PLANTA E DO ANIMAL

O enxofre é absorvido na solução do solo pelas raízes da planta principalmente na forma oxidada, o sulfato (Malavolta 1980). A absorção de enxofre, que ocorre por processo ativo, é limitada por alguns ânions devido à competição pelos sítios de absorção. Goh & Kee (1978) observaram que a aplicação de nitrogênio na forma de nitrato provocou decréscimo na absorção de enxofre pela planta. Malavolta (1980) ressalta que o excesso de Cl^- pode diminuir a absorção de enxofre.

O enxofre influencia o processo de redução do nitrato a amônio na planta, necessário para a incorporação do nitrogênio mineral em esqueletos de carbono, formando os aminoácidos. A enzima responsável pela redução do nitrato (nitrato redutase) contém grupos SH, e por conseguinte, sua atividade é limitada em condições de deficiência de enxofre, resultando num acúmulo de nitrato (N-NO_3) na planta (Cavallini & Carvajal, 1978).

A atividade da enzima redutase no nitrato está associada ao "status" de nitrogênio, teor de proteínas, crescimento e produção das plantas (Guerreiro et al. 1981). Segundo Spencer (1959), a aplicação de S aumentou o teor de nitrogênio e a produção do *Trifolium repens* L.

Em leguminosas, o enxofre é requerido nos nódulos para a fixação simbiótica de nitrogênio, dado que este nutriente é um elemento constituinte da nitrogenase (enzima fixadora de nitrogênio). No entanto, a exigência de enxofre no metabolismo da planta fora dos nódulos, supera em muito a exigência do processo de fixação de nitrogênio (Robson 1978).

O enxofre é um elemento constituinte dos aminoácidos essenciais: cistina, cisteína e metionina, os quais encerram 90% do total de S na planta, bem como está associado às vitaminas: biotina e tiamina; à coenzima A e à ferredoxina. A síntese de proteínas é considerada a principal função do S na planta (Allaway & Thompson 1966).

A fração protéica de uma espécie de planta apresenta uma relação constante entre nitrogênio e enxofre, uma vez que a sequência e o número de aminoácidos de cada proteína são determinados geneticamente (Westermann 1975).

O metabolismo e a assimilação de nitrogênio, portanto, estão estreitamente relacionados com o suprimento de enxofre para as plantas. Em condições de deficiência de enxofre, a síntese de proteínas é limitada pela falta de aminoácidos com S, resultando no acúmulo de formas de nitrogênio não protéico: nitrato ($N-NO_3$), amônio ($N-NH_4$), amidas e aminoácidos livres, assim como no decréscimo do nível de nitrogênio protéico (Goh & Kee 1978).

A distribuição das formas de N, por sua vez, influencia o crescimento e a produção das plantas, e conseqüentemente, a eficiência de utilização (matéria seca produzida por unidade de N absorvido) será maior, quando o nível de enxofre for adequado, em função da maior proporção de N protéico na planta (Vale et al. 1989).

Segundo Spencer (1959), a proporção do nitrogênio protéico aumentou de 70 a 83% do total de nitrogênio na planta com a aplicação de enxofre. Goh & Kee (1978) verificaram que as formas de nitrogênio não protéico corresponderam a 40% do total de nitrogênio em plantas deficientes de enxofre. Destes 40% de nitrogênio não protéico, apenas 10% eram formados por nitrato (Fig. 1).

Forrageiras com esta composição apresentam uma dieta desbalanceada, nas quais o conteúdo de nitrogênio não protéico pode exceder as exigências do animal, resultando em desordens nutricionais, principalmente em ruminantes. Altas concentrações de nitrato nas forrageiras podem causar envenenamento, e em gado de leite pode provocar hipomagnesia, devido a uma inadequada absorção de magnésio, provavelmente associada com a produção ruminal de amônia (Goh & Kee 1978).

O enxofre aparece no corpo animal na proporção de 0,15%, sendo exigido, principalmente como componente das proteínas, nos aminoácidos (cistina, cisteína e metionina), de modo que sua falta pode produzir uma deficiência de proteína (Gallo et al. 1974).

O enxofre ocorre também nos tecidos animais, em várias formas de sulfato orgânico, como por exemplo, o sulfato de condroitina, um importante componente das cartilagens, ossos e paredes de vasos sanguíneos. A heparina, um anti-coagulante sanguíneo, é um éster do ácido sulfúrico com um polissacarídeo (Shirley & Mariante 1976).

Os ruminantes são capazes de reduzir o sulfato a sulfetos e formar os aminoácidos, contendo enxofre, através da atividade de microrganismos no rúmen (Allaway & Thompson 1966).

% N na M.S.

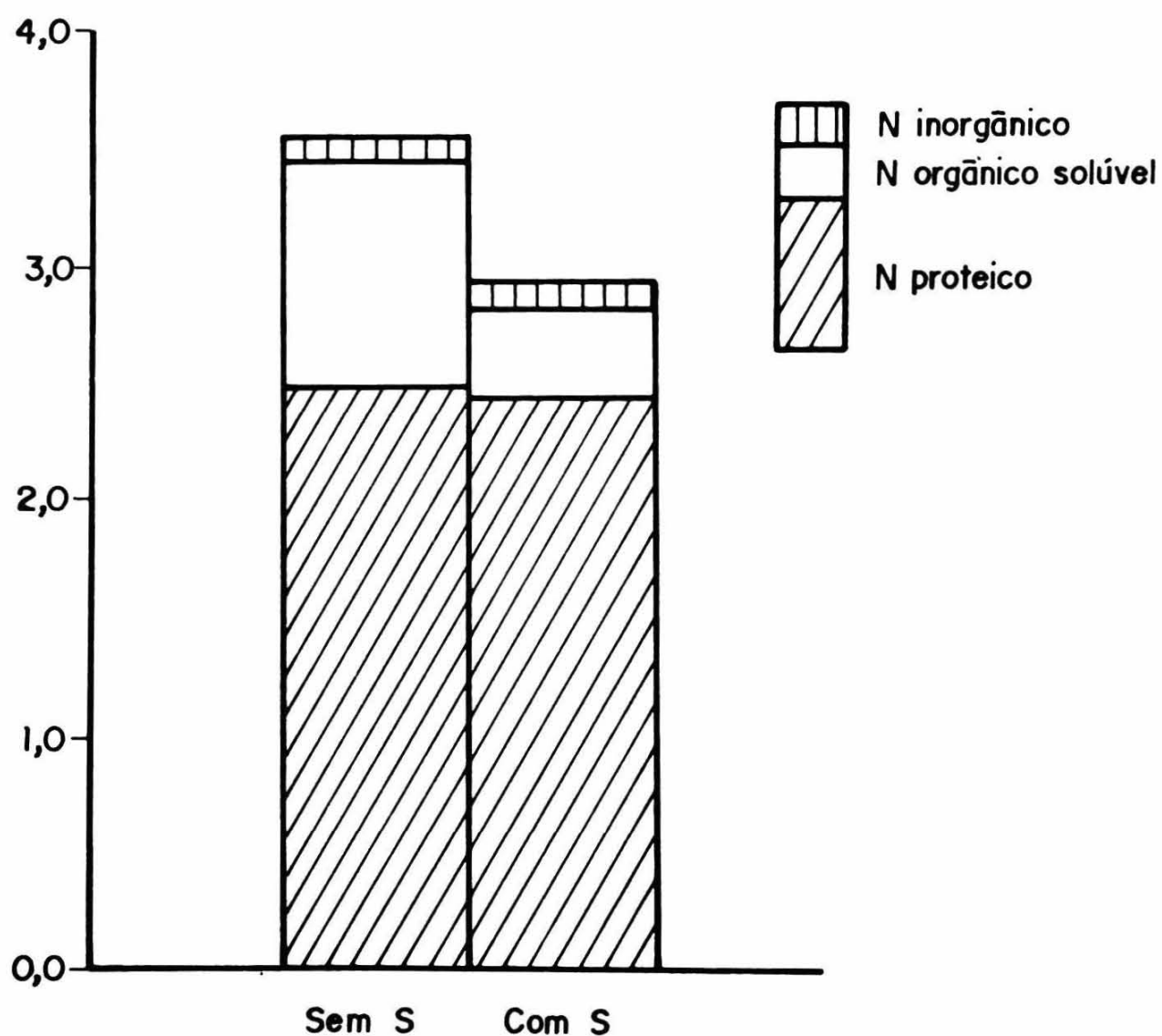


FIG. 1. Efeito da aplicação de 67 kg S/ha na forma de gesso sobre as formas de nitrogênio.
Fonte: adaptado de Goh & Kee (1978).

Pastagens deficientes em enxofre constituem-se ração de melhor qualidade nutricional, avaliadas pelo teor de proteínas, digestibilidade e taxa de conversão alimentar, em relação a pastagens com suprimento adequado de enxofre (Allaway & Thompson 1966). A apetecibilidade das pastagens também é aumentada e, conseqüentemente, o consumo pelos animais é maior, pois o enxofre faz parte de compostos que transmitem sabores e aroma (Vitti & Novaes, 1966).

5 DIAGNOSE DE ENXOFRE EM FORRAGEIRAS

A avaliação do estado nutricional das plantas é considerada uma das ferramentas para prever a necessidade de aplicação de fertilizantes. O "status" de enxofre (S) na planta pode ser avaliado através de determinações analíticas de S no tecido, e ainda, através da diagnose visual, do sintoma de deficiência que se caracteriza pelo amarelecimento das folhas mais jovens que evolui para clorose.

A interpretação dos resultados de análise de tecido é feita pela comparação com os níveis críticos, obtidos para cada espécie através de correlações entre o teor do nutriente e a produção, considerando-se o teor correspondente a 90% da produção máxima, como nível crítico na planta.

Baseado neste conceito, o crescimento e a produção da planta não serão limitados quando a concentração de um nutriente exceder o nível crítico. Este conceito pressupõe que o nível crítico de um nutriente deveria ser constante em dado estágio de crescimento de espécies cultivadas sob condições variadas de clima e solo (Westermann 1975).

O nível crítico constitui-se indicativo de exigência do nutriente pela planta, para um ótimo crescimento e produção. Têm sido recomendadas para avaliar a exigência de enxofre em forrageiras, as determinações de enxofre total, do sulfato e a relação N/S. A exigência das plantas está relacionada com a função desempenhada pelo nutriente. No caso do enxofre, cuja principal função é a síntese de proteínas, as quantidades exigidas pelas plantas são relativamente altas (Pumphrey & Moore 1965).

As leguminosas forrageiras são mais exigentes em enxofre quando comparadas com as gramíneas, em função do seu maior conteúdo em proteínas (Vitti & Novaes 1986).

Gallo et al. (1974), em 249 amostras de forrageiras, sendo 122 de gramíneas e 127 de leguminosas, observaram que 33% das espécies analisadas apresentavam teores de S abaixo de 0,1%, sendo que 52% das gramíneas continham teores menores de 0,1% de S total.

As necessidades de enxofre não variam de forma expressiva entre as espécies de leguminosas forrageiras. Andrew (1977) observou níveis críticos variando de 0,14% em *Stylosanthes humilis* a 0,20% de S total em alfafa (*Medicago sativa*) entre dez espécies testadas.

A maior exigência de enxofre pela *Medicago sativa* comparada com outras leguminosas também foi observada por Jones & Quagliato (1970). Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Pumphrey & Moore (1965), quando observaram um nível de 0,22% de S total em *Medicago sativa*.

Em gramíneas forrageiras tropicais (*Panicum maximum*, *Cenchrus ciliaris*, *Digitaria decumbens*, *Paspalum dilatatum*, *Chloris gayana*, *Setaria sphacelata* e *Pennisetum clandestinum*), o nível crítico variou numa faixa de 0,07 a 0,11% de S total (Andrew 1977).

O enxofre presente na planta em quantidades excedentes à requerida para a síntese de proteínas, acumula-se no tecido vegetal na forma de sulfato. Baseado neste fato, foi proposta a utilização da concentração de sulfato para avaliar o "status" de enxofre na planta. De acordo com este conceito, a ocorrência de concentrações acima de um determinado nível de sulfato, para dada espécie, indica ausência de deficiência de S.

Smith & Dolby (1977) verificaram que o capim-colonião estava bem suprido de enxofre, quando o teor de sulfato era superior a 0,12%, o que correspondeu a 12% do S total. Jones & Martin (1964) propuseram um nível crítico de 0,02% de sulfato em gramíneas anuais da Califórnia. Westermann (1975) relatou que a concentração de sulfato é um índice adequado para diagnose de enxofre, e obteve um valor de 0,05% em alfafa. Jones (1962) verificou que a concentração de sulfato no trevo subterrâneo refletiu o estado nutricional de enxofre, sendo que acima de 0,017% de sulfato, a adubação com enxofre não promovia aumentos no crescimento e produção.

Os teores de enxofre total e de sulfato, entretanto, variam de forma expressiva com a idade da planta e a parte amostrada, requerendo uma padronização destes parâmetros. Spencer et al. (1977) observaram que o

crescimento ótimo do trevo subterrâneo era obtido com um teor de 0,19% de S total aos 33 dias de idade, enquanto que, aos 133 dias de idade, isto ocorria com 0,10% do S total. A concentração ótima de sulfato variou ainda mais intensamente, de 200 a 10 ppm correspondente a 33 e 133 dias de idade, respectivamente.

O decréscimo dos níveis críticos de S total no decorrer do desenvolvimento das plantas, principalmente em forrageiras tropicais, também foi observado por Smith & Dolby (1977) em capim-colônia. O nível crítico de S total reduziu, 18 dias após a rebrota, de 0,15% para 0,13% e 0,08%, respectivamente 7 e 14 dias mais tarde.

A diagnose de enxofre unicamente através das concentrações absolutas deste nutriente ainda apresenta limitações, por não considerar as interações com outros nutrientes, principalmente o nitrogênio (Alvarez 1988). Com altos teores de nitrogênio na planta, pode haver deficiência de enxofre, sem que o nível absoluto desse indique. Portanto, tem sido comumente empregada a relação N/S total como índice para avaliar o estado nutricional da planta em enxofre, o que ainda apresenta a vantagem de ser menos variável com o estágio de crescimento e com a parte amostrada (Pumphrey & Moore 1965).

Quando este conceito é usado, a relação N/S na fração protéica (insolúvel em álcool) é assumida como constante para dada espécie de planta, mas a relação N_{total}/S_{total} (N/S)_t aumenta acima da relação $N_{protéico}/S_{protéico}$ (N/S)_p, em condições de deficiência de enxofre, devido ao aumento das formas de nitrogênio não protéico, em função da redução da síntese de proteínas (Dijkshoorn et al. 1960).

As leguminosas, de forma geral, apresentam uma relação N/S na fração protéica de 18, enquanto que para as gramíneas, a relação é de 14 (Dijkshoorn & Van Wijk 1967). Entretanto, a relação (N/S)_t correspondente ao crescimento ótimo das forrageiras é ligeiramente maior que a relação (N/S)_p, conforme verificado para Andrew (1977), Jones & Quagliato (1970) e Monteiro et al. (1983) em leguminosas forrageiras.

Segundo Spencer et al. (1977), a formação de compostos diferentes das proteínas, os quais contêm relações de nitrogênio e enxofre diversas daquelas encontradas nas proteínas, é responsável pela diferença entre a (N/S)_p e a (N/S)_t correspondente ao ótimo crescimento das plantas.

Deve-se considerar ainda que, em condições de moderada deficiência de S, o conteúdo de proteínas das plantas é reduzido, sem uma redução do crescimento; mas deficiência severa reduz a taxa de síntese de proteínas a ponto de limitar o crescimento e a produção das plantas (Jones et al. 1971).

A relação $(N/S)_t$ crítica, portanto, deve ser obtida através de ensaios que correlacionem a produção e o crescimento de planta com a $(N/S)_t$, conforme indicado na Fig. 2, a qual mostra que a produção relativa da cultivar Tanzânia-1 (*Panicum maximum* Jacq.) é inversamente proporcional à relação $(N/S)_t$ (Paiva et al. 1992).

A constância da relação $(N/S)_p$, entretanto, tem sido questionada recentemente. Alguns autores afirmam que a relação $(N/S)_p$ pode ser aumentada até certos limites, em condições de deficiência de enxofre, pela alteração das proporções das proteínas individuais formadas. Westermann (1975) verificou que a relação $(N/S)_R$, em alfafa, variou de 17 a 23, conforme o grau de deficiência de enxofre aumentava.

Alguns autores, no entanto, obtiveram resultados diferentes, quando observaram uma relação $(N/S)_p$ constante para níveis crescentes de S no trevo subterrâneo (Freney et al. 1977). A relação $(N/S)_t$ mostrou-se adequada para diagnose de deficiência de enxofre em alfafa, quando se obteve uma relação de 11 como nível crítico de enxofre, conforme observaram Pumphrey & Moore (1965). McNaught & Chrisstoffels (1961) relatam uma relação N:S de 17 a 18,5 para o trevo branco e de 11 a 12 para gramíneas. Em *Lolium perene* L., Goh & Kee (1978) obtiveram uma relação N/S de 17 como nível crítico.

O assunto é ainda controverso, mas segundo Freney et al. (1977), as variações da relação $(N/S)_p$ são devidas ao processo de extração do nitrogênio não protéico que não é totalmente removido e se acumula em plantas deficientes de S; por conseguinte, esta forma de N é tomada como N protéico, resultando na determinação de relações $(N/S)_p$ mais amplas em plantas deficientes. Os autores ressaltam que a $(N/S)_p$ é constante, sendo válida a comparação com a $(N/S)_t$ para diagnóstico de S. Klieman (1987) verificou que a relação N/S mostrou ser o parâmetro mais adequado para avaliação do S.

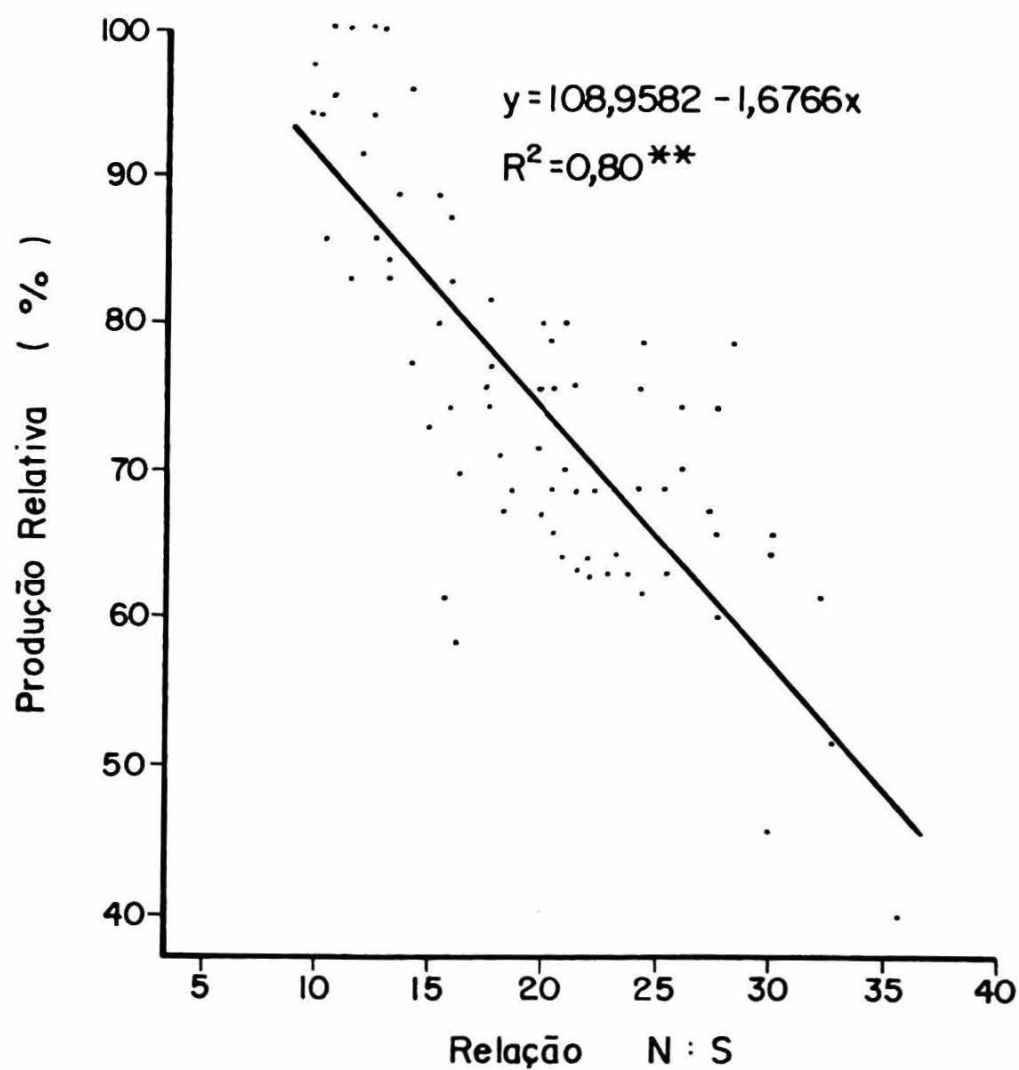


FIG. 2. Produção relativa da cultivar Tanzânia-1 (*Panicum maximum* Jacq.) relacionada com a relação $(N/S)_t$ da parte aérea.

FONTE: Paiva et al. (1992). Dados não publicados.

A relação N/S obtida para as plantas, considerando um ótimo crescimento, não coincide com a relação N/S baseada na qualidade nutricional ideal das forrageiras para os animais, que se situa na faixa entre 10 e 15:1, o que é geralmente menor que a preconizada para o máximo crescimento das plantas (Allaway & Thompson 1966).

Algumas plantas forrageiras podem ser deficientes em S para os animais, apesar destas plantas estarem com um crescimento e concentração de S adequado (Allaway & Thompson 1966).

A adubação com enxofre não somente é importante no aumento da produção das plantas forrageiras, como também na melhoria da qualidade nutricional destas. Neste sentido, o fornecimento adequado de enxofre para as forrageiras deverá visar também ao aumento do conteúdo de aminoácidos na dieta animal, além do aumento da produção de matéria seca (Vitti & Novaes 1986).

6 ENXOFRE NA NUTRIÇÃO ANIMAL

O enxofre é um elemento essencial para os microrganismos do rúmen (Agricultural Research Council 1980, Georgievskii 1982), especialmente para as bactérias celulolíticas (Kennedy et al. 1968 citado por McDowell 1985) e fungos (Gordon & Phillips 1989). As misturas minerais existentes no mercado apresentam concentrações variáveis desse elemento e os técnicos mostram posições divergentes em relação à necessidade de seu emprego.

O National Research Council (1984) recomenda que dietas para bovinos de corte contenham no mínimo 0,1% de enxofre, mas existem algumas indicações de que, no caso de animais recebendo dietas fibrosas, os requisitos totais de enxofre sejam de 0,20% ou mais (McDowell 1985). Este é importante para a formação da proteína microbiana, devido a sua participação nos aminoácidos sulfurados, e também para a síntese de vitaminas, como biotina e tiamina (McDowell 1985, National Research Council 1984).

A deficiência de enxofre deprime a taxa de digestão no rúmen, com conseqüente queda na ingestão de alimentos (Agricultural Research Council 1980). Apesar de existir o requisito absoluto por enxofre, há interdependência entre as exigências de nitrogênio (N) e enxofre (S) disponíveis para os microrganismos do rúmen (Agricultural Research Council 1980). Considera-se que a relação N:S ao redor de 14-15:1 seria adequada, por estar próxima do que

é encontrado nas proteínas das bactérias, do leite e de tecido animal (Agricultural Research Council 1980, Bird et al. 1978, Shirley 1978).

A deficiência de enxofre é encontrada principalmente em dietas com baixo teor protéico ou que contenham uma porção significativa de nitrogênio não protéico (NNP).

A razão N orgânico/S orgânico em plantas deficientes em enxofre pode chegar a dobrar em relação a tecidos vegetais normais (Mengel & Kirkby 1987). Neste caso, seria possível obter resposta animal à suplementação de enxofre. A adição de sulfato de sódio e metionina em sistemas "in vitro" pode resultar em incremento na produção de vitaminas (riboflavina e vit B12), na digestão da celulose e utilização da uréia (Goodrich et al. 1972). O enxofre adicional fornece condições para a produção de proteína microbiana, a partir do nitrogênio disponível e aumenta a retenção do mesmo. O S também aumenta o aporte de aminoácidos sulfurados no duodeno, sendo que a metionina está entre os aminoácidos mais limitantes para o crescimento animal e síntese de proteína muscular (Chalupa 1984, Hogan 1984, Norton 1984).

À medida que as plantas envelhecem, os níveis de enxofre na planta variam de maneira irregular, não sendo possível estabelecer um padrão. Enquanto Van Eys & Reid (1987) praticamente não observaram qualquer alteração, Powell et al. (1978) relataram tanto o declínio dos níveis de enxofre, quanto da absorção aparente do elemento pelo animal, à medida que a forrageira ia amadurecendo. A tendência à menor biodisponibilidade do enxofre com o avanço da idade foi também verificada por Van Eys & Reid (1987), que notaram significativa queda da taxa de desaparecimento no rúmen da fração potencialmente disponível.

Na Austrália, não foi observada melhora no desempenho com a adição de enxofre à dieta de bovinos em pastagem nativa, mesmo ocorrendo baixos teores do elemento (Winter 1988). Por outro lado, o enxofre suplementar promoveu respostas para bovinos recebendo NNP com dietas relativamente deficientes no elemento (Kennedy & Siebert 1974, Goodrich et al. 1972, Rayment et al. 1983). No Brasil, existe o trabalho de Vilela et al. (1976), onde a adição de enxofre à uréia elevou o ganho de peso em 49%.

Pastagens melhoradas de gramíneas ou gramíneas/leguminosas, deficientes em enxofre, também apresentaram resultados positivos em termos de desempenho dos bovinos (Kennedy & Siebert 1974, Rees et al. 1974, Hunter et al. 1979, Rayment et al. 1983).

A adição de enxofre às misturas minerais, quando for realizada, deve considerar as interações desse elemento com o cobre e o selênio, que podem ter suas biodisponibilidades reduzidas (National Research Council 1984, Kandyliis 1984). O cobre é reconhecidamente um dos minerais mais deficientes nas nossas condições (Lopes 1985, Sousa 1986) e existem indicações de que também o selênio possa ser limitante (Moraes 1986).

No Brasil, os trabalhos de suplementação com enxofre são limitados e se concentraram sobre o efeito nos ectoparasitas (Costa 1983, Gomes et al. 1988).

Diante das melhoras significativas obtidas com a incorporação de elementos minerais deficientes sobre o desempenho animal (Graça 1979, Sousa et al. 1985, Lopes et al. 1988, Moraes et al. 1985), permitindo uma utilização mais eficiente da forrageira disponível, os efeitos da suplementação de enxofre sobre o ganho de peso merecem estudos mais detalhados.

7 RESPOSTAS DE FORRAGEIRAS À APLICAÇÃO DE ENXOFRE

O incremento da produção das plantas forrageiras pela adubação com enxofre tem sido demonstrado por vários trabalhos, tanto no exterior como no Brasil. A deficiência de enxofre tinha ficado obscurecida no passado, pela aplicação de superfosfato simples, que contém S, e portanto a resposta das plantas à adubação era atribuída ao fósforo (Farina et al. 1972).

7.1 Gramíneas

A aplicação de enxofre em algumas gramíneas chegou a aumentar de 3 a 4 vezes a produção de matéria seca em algumas regiões da Califórnia (Jones 1974). No capim Swannee-bermuda, constatou-se um acréscimo de 11.700 kg de matéria seca com a aplicação de 160 kg/ha/ano de S em solos de cerrado (Freitas & Jorge 1982).

A deficiência de enxofre e seu efeito sobre a produção de capim-colônia foi observada por Werner et al. (1967), num Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa. Os autores

verificaram que o fósforo foi o elemento que mais limitou o crescimento inicial do capim-colonião, no ensaio de vasos, seguindo-se o nitrogênio e em terceiro lugar o enxofre.

Casagrande & Souza (1982) avaliaram as respostas ao enxofre de quatro gramíneas forrageiras em três tipos de solo (Areia Quartzosa, Latossolo Vermelho Escuro álico, Latossolo Vermelho Escuro distrófico). Verificaram que a aplicação de enxofre aumentou a produção em todos os casos, evidenciando a necessidade da adubação com o elemento na obtenção de produções satisfatórias de matéria seca. Das gramíneas estudadas, os capins gordura e braquiária foram os que mais responderam em aumento de produção de matéria seca. A maior frequência de resposta ao enxofre ocorreu com a aplicação de até 30 kg/ha (Fig. 3).

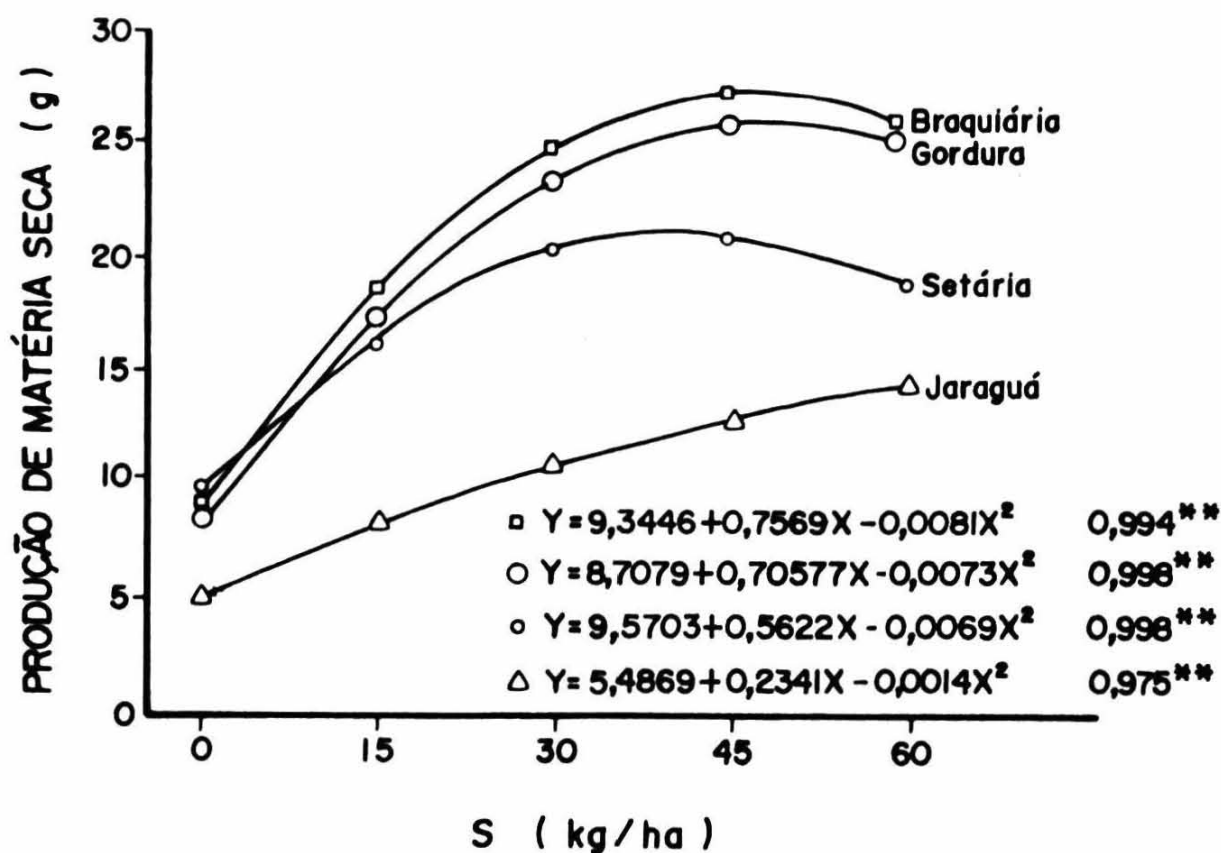


FIG. 3. Produção de matéria seca em função de cinco níveis de enxofre aplicado em solo AQ.
FONTE: Casagrande & Souza (1982).

Em *Panicum maximum* (cv. Tanzânia-1) foram observadas respostas à adubação com enxofre até a dose 80 kg/ha, em solos do Mato Grosso do Sul, indicando a exigência elevada desta gramínea (Paiva et al. 1992). A espécie *Panicum maximum* apresentou maior concentração de S quando comparada com a *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* (Tabela 1), em amostras de experimento sob pastejo no Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

TABELA 1. Concentração de S de diferentes espécies em amostras vegetais que simulavam a dieta animal.

Espécie	Anos			
	1987	1988	1989	1990
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	0,14	0,13	0,14	0,12
<i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk	0,16	0,13	0,13	0,12
<i>Panicum maximum</i> cv. Colônia	0,17	0,17	0,17	0,17
<i>Panicum maximum</i> cv. Tobiatã	0,17	0,17	0,12	0,15
<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia-1	0,16	0,15	0,13	0,14

FONTE: Euclides et al. (1992). Dados não publicados.

Cabe ressaltar que o incremento de produção com aplicação de enxofre observado nos trabalhos mencionados acima, ocorreram mediante aplicação de fósforo e principalmente nitrogênio, uma vez que, quando o suprimento de nitrogênio não é adequado, a adubação com enxofre dificilmente aumenta a produção de matéria seca (McClung et al. 1959?). Assim, o teor de enxofre será suficiente, na maioria dos casos, se os níveis de nitrogênio não forem elevados.

Segundo Mitchell & Blue (1989), o efeito da aplicação de enxofre sobre a produção de matéria seca de *Paspalum notatum* depende da dose de nitrogênio aplicada. Na dose mais elevada de nitrogênio (400 kg/ha), a resposta ao enxofre é mais pronunciada (Fig. 4).

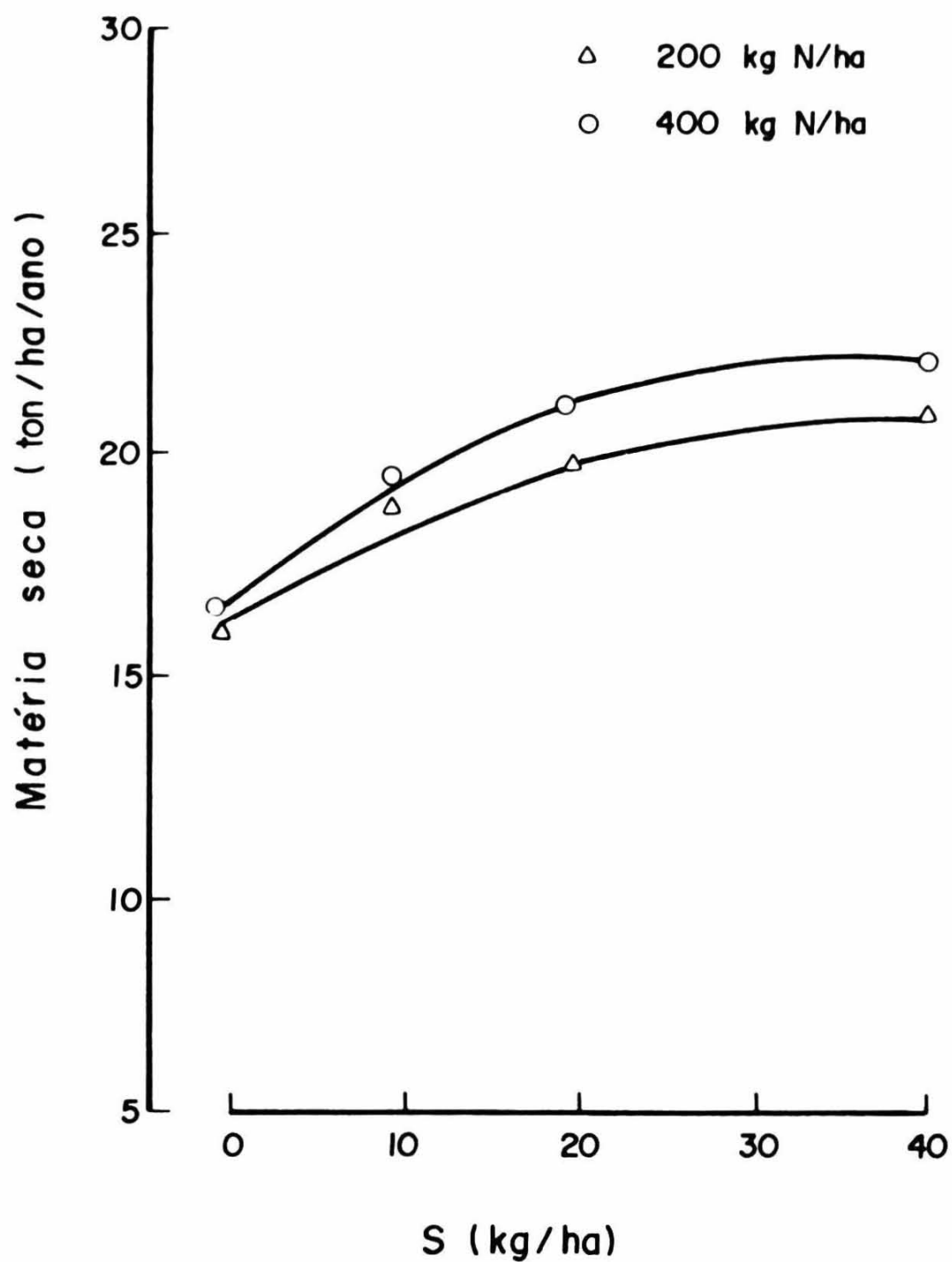


FIG. 4. Efeito da adubação com enxofre na produção de *Paspalum notatum* sob dois níveis de nitrogênio.
FONTE: Adaptado de Mitchell & Blue (1989).

Neste sentido, a aplicação de enxofre em pastagens exclusivas de gramíneas tropicais trará benefícios no aumento de produção e valor nutritivo destas, quando feita juntamente com adubação fosfatada e principalmente com aplicação de nitrogênio, cujas deficiências são bastante acentuadas nestas regiões (Werner & Monteiro 1988).

O gesso agrícola, subproduto da produção de fertilizantes fosfatados, pode ser uma fonte alternativa da adição de enxofre, pois apresenta 15% desse nutriente. Para tanto, deve-se considerar o custo com o transporte, uma vez que o preço por tonelada no local de produção é bastante reduzido (Casagrande & Souza 1982).

7.2 Leguminosas

As leguminosas forrageiras exigem maiores quantidades de enxofre para seu desenvolvimento que os capins, devido ao seu maior teor de proteínas. A magnitude de resposta ao enxofre, no entanto, depende da espécie da leguminosa e da época de avaliação. Jones & Quagliato (1970) observaram que o siratro mostrou, no segundo corte (94 dias do plantio), alguma resposta ao enxofre; no entanto, no terceiro corte (136 dias após o plantio), esta resposta foi muito maior que as das outras leguminosas testadas: *Stylosanthes gracilis*, *Centrosema pubescens* e *Medicago sativa* (alfafa).

O siratro, ao que tudo indica, exige grandes quantidades de enxofre e, portanto, a resposta à aplicação deste nutriente em termos de produção, quantidade de N e nodulação, é maior que outras leguminosas, conforme verificado por Monteiro et al. (1983), ao comparar a soja perene, centrosema e galáxia. Esta leguminosa apresentou o máximo de produção de matéria seca com a aplicação de 86 kg de S/ha.

A resposta das forrageiras ao enxofre, entretanto, está associada à disponibilidade deste nutriente. Os solos do cerrado, na sua maioria, são deficientes em enxofre, sendo que a adubação geralmente acarreta incrementos tanto na produção de matéria seca das leguminosas forrageiras, quanto no "status" de nitrogênio e na nodulação.

Casagrande et al. (1982) verificaram que a deficiência de enxofre limitou o crescimento da soja perene em três solos do cerrado: Latossolo Vermelho Escuro álico, Latossolo Vermelho Escuro distrófico e Areia Quartzosa distrófica, sendo que apenas no Latossolo Roxo isto não ocorreu.

A resposta da soja perene à aplicação de enxofre na dose 60 kg de S/ha, em Latossolo Vermelho Escuro fase campo cerrado foi verificada por Jones et al. (1970), que constataram ainda aumentos na porcentagem de nitrogênio na parte aérea da soja perene e centrosema.

Andrew (1977) obteve expressivos acréscimos da produção de matéria seca e da porcentagem de nitrogênio na parte aérea do siratro e da soja perene com a aplicação de enxofre. No entanto, Carriel et al. (1983) observaram que os aumentos da produção de matéria seca da soja perene somente ocorriam quando aplicada a dose de 90 kg de S/ha num Latossolo Vermelho Escuro-orto.

Colozza et al. (1983) constataram que o enxofre teve efeitos expressivos na produção de matéria seca e na porcentagem de nitrogênio da soja perene, apenas quando usado após correção adequada da acidez do solo e do magnésio, através da aplicação de calcário dolomítico.

Os resultados mencionados acima foram obtidos através de ensaios em vasos em casa de vegetação que apresentavam condições ótimas para o crescimento das plantas, as quais não correspondem às condições de campo, entretanto fornecem informações preliminares.

Recentemente, em trabalhos de campo, em parcelas sob pastejo, Rasgue et al. (1988) verificaram que a inclusão do enxofre na adubação provocou expressivos acréscimos na produção de matéria seca do trevo e no ganho de peso do gado em relação ao nitrogênio aplicado isoladamente e à testemunha (Tabela 2).

TABELA 2. Produção de matéria seca (MS) de trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum* L.) estimada pelo consumo (2,5% do peso vivo) e a forragem remanescente e ganho de peso vivo de bovinos nos primeiros anos.

Tratamento ¹	MS (kg/ha)	Ganho de peso vivo (kg/ha)
Testemunha	3.290	100
N	3.520	170
NPS	4.610	240
PS	5.690	160

¹Doses: 90 kg N, 67 kg P₂O₅, 37 kg S.

DMS: 453

FONTE: Adaptado de Rasgue et al. (1988).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A deficiência de enxofre nos solos do Brasil Central Pecuário ocorre de forma generalizada e vem se agravando pelo esgotamento do solo com o decorrer do tempo. Assim, a produção das forrageiras vem sendo limitada por este nutriente, com reflexos na qualidade nutricional, resultando num menor desempenho dos animais.

A obtenção de resultados satisfatórios na pecuária de corte, passa pela correção de deficiência de enxofre, entre outros nutrientes, quer pela adubação direta, ou pela rotação de pastagens com culturas. Resultados de pesquisa indicam que a aplicação de enxofre provocou acréscimos no ganho de peso de animais sob pastejo. Portanto, torna-se de fundamental importância o empenho das atividades de pesquisa necessárias para a definição de níveis críticos de enxofre no solo e na planta, assim como para a avaliação das transformações que envolvem a dinâmica do S no solo, a fim de fornecer conhecimentos e subsídios, suficientes para basear as previsões das quantidades de S a serem aplicadas em cada situação.

Atualmente, estes dados não são disponíveis, indicando uma lacuna não preenchida pelas atividades de pesquisa, no sentido de propiciar base técnico-científica para uma recomendação eficiente de adubação com enxofre, visando ao aumento da produção das forrageiras, à melhoria da qualidade nutricional, e melhor desempenho animal.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (Londres, Inglaterra). The nutrient requirement of ruminant livestock. Farnham Royal : Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980. 351p.
- ALEXANDER, M. Microbial transformation of sulfur. In: ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York : J. Wiley, 1977. p.350-367.
- ALLAWAY, W.H.; THOMPSON, J.F. Sulfur in the nutrition of plants and animals. Soil Science, Baltimore, v.101, n.4, p.240-247, 1966.
- ALVAREZ, V.H.V. Enxofre: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17., 1988, Londrina. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina : EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.31-59.
- ANDREW, C.S. The effect of sulphur on the growth, sulphur and nitrogen concentrations, and critical sulphur concentrations of some tropical and temperate pasture legumes. Australian Journal Agricultural Research, Melbourne, v.28, p.807-820, 1977.
- BARDSLEY, C.E.; KILMER, V.J. Sulfur supply of soils and crop yields in the southeastern United States. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.27, n.2, p.197-199, 1963.
- BARDSLEY, C.E.; LANCASTER, J.D. Determination of reserve sulfur and soluble sulfato in soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.24, n.4, p.265-268, 1960.
- BARROW, N.J. Effects of adsorption of sulfate by soils on the amount of sulfate present and its availability to plants. Soil Science, Baltimore, v.108, n.3, p.193-201, 1969.

- BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B.; HASTE, A.D. Sulfur fractions and carbon, nitrogen, and sulfur relationships in grassland, forest, and associated transational soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.37, n.6, p.915-918, 1973.
- BIEDERBECK, V.O. Soil organic sulfur and fertility. In: SCHNITZER, M.; KHAN, S.V. Soil organic matter. Amsterdam : Elsevier, 1978. p.272-310 (Development in Soils Science, 8).
- BIRD, P.R.; WATSON, M.J.; CAYLEY, J.W.D. The sulphur requirements of ruminants and the S and N status of perennial pastures in Southern Australian. In: SULPHUR in Forages, proceedings of a Symposium held on Wexford, Ireland. Dublin : An Foras Talenitares, 1978. p.228-250. Fotocópia.
- BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.I. O enxofre no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17., 1988, Londrina. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina : EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.11-29.
- CARRIEL, J.M.; MONTEIRO, F.A.; PAULINO, V.T.; SARTINI, H.J. Limitações nutricionais ao desenvolvimento da soja perene, em pastagem consorciada com o capim-jaraguá. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v.40, n.2, p.241-250, 1983.
- CASAGRANDE, J.C.; SOUZA, O.C. de. Efeito de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, n.1, p.21-25, 1982.
- CASAGRANDE, J.C.; SOUZA, O.C. de; SCHUNKE, R.M. Avaliação de quatro solos do Estado de Mato Grosso do Sul. 1. Enxofre e micronutrientes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, n.3, p.381-384, 1982.
- CATE, R.B.; NELSON, L.A. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation in two classes. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.35, n.4, p.658-660, 1971.

- CAVALLINI, J.A.; CARVAJAL, J.F. Mineral nutrition and nitrate reductase activity in coffee trees affected in mineral deficiency. Turrialba, San Jose, v.28, n.1, p.61-66, 1978.
- CHALUPA, W. Manipulation of rumen fertilization. In: HARESIGN, W.; COLE, D.J.A., Recent advances in animal nutrition. Butterworths : University of Nottingham, 1984. p.143-160.
- CHAO, T.T.; HARWARD, M.E.; FANG, S.C. Iron or aluminum coatings in relation to sulfate adsorption characteristics of soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.28, n.5, p.632-635, 1964.
- CHESNIN, L.; YEN, C.H. Turbidimetric determination of available sulfates. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.15, p.149-151, 1950.
- COLOZZA, M.T.; SAVASTANO, S.A.L.; WERNER, J.C.; MONTEIRO, F.A. Efeitos da aplicação de gesso e calcário dolomítico em dois solos ácidos cultivados com soja perene. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v.40, n.1, p.75-96, 1983.
- COSTA, C.A.S. Mineralização de enxofre orgânico e adsorção de sulfato em solos. Porto Alegre : UFRGS-Fac. Agronomia, 1980. 65p. Tese Mestrado.
- COSTA, N.A. Uso de enxofre no controle de carrapatos (Boophilus microplus) em bovinos. Belém : EMBRAPA-CPATU, 1983. 4p. (EMBRAPA-CPATU. Pesquisa em Andamento, 95).
- DIAS, L.E.; PEREIRA, F.A.S.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M. da. Movimentação de cálcio em colunas de solo tratadas com carbonato e sulfato de cálcio. Revista Ceres, Viçosa, v.31, n.178, p.407-414, 1984.
- DIJKSHOORN, W.; LAMPE, J.E.M.; VAN BURG, P.F.J. A method of diagnosing the sulphur nutrition status of herbage. Plant and Soil, Madison, v.13, n.3, p.227-241, 1960.

- DIJKSHOORN, W.; VAN WIJK, A.L. The sulphur requirement of plants as evidence by sulphur-nitrogen ratio in the organic matter and a review of published data. Plant and Soil, Madison, v.13, n.1, p.229-241, 1967.
- ELKINS, D.M.; ENSMINGER, L.E. Effects of soil pH on the availability of adsorbed sulfate. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.25, n.6, p.931-934, 1971.
- FARINA, M.P.W.; GROSS, G.W.; CHANNONS, P. The influence of sulphur of the yield of a grass-clover pasture fertilized with different sources of phosphorous. Fertilizer Society of South Journal, Pretoria, v.1, p.1-3, 1972.
- FASSBENDER, H.N. Química de suelos. Turrialba: Inst. Inter. de Cienc. Agric. de la OEA, 1975. 388p.
- FONTES, M.P.F. Disponibilidade do enxofre em diferentes extratos químicos em alguns latossolos do Estado de Minas Gerais. Viçosa : UFV, 1979, 63p. Tese Mestrado.
- FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BORGES, A.C. Disponibilidade do enxofre em três extratores químicos em latossolos de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.6, n.2, p.125-130, 1982a.
- FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BORGES, A.C. Nível crítico de enxofre em latossolos e recuperação do sulfato adicionado por diferentes extratores químicos, em casa de vegetação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.6, n.3, p.226-230, 1982b.
- FOX, R.L.; OLSON, R.A.; RHOADES, H.F. Evaluating the sulfur status of soils by plant and soil tests. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.28, n.2, p.243-246, 1964.
- FREITAS, L.M.M.; JORGE, J.P.N. Resposta de capim-swarnee-bermuda à aplicação de nitrogênio, fósforo e enxofre em região de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.6, n.3, p.195-202, 1982.

- FRENEY, J.R.; SPENCER, K.; JONES, M.B. On the constancy of the ratio of nitrogen to sulphur in the protein of subterranean clover tops. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Athens, v.8, n.3, p.341-349, 1977.
- GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C.; MATTOS, H.B.; SARTINI, J.; FONSECA, M.P. Composição química inorgânica de forrageiras do Estado de São Paulo. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v.31, n.1, p.115-137, 1974.
- GEORGIEVSKII, V.I. The physiological role of macroelements. In: GEORGIEVSKII, V.I. Mineral nutrition of animals. Withami Butterworths, 1982. p.91-170.
- GOH, K.M.; KEE, K.K. Effects of nitrogen and sulphur fertilization on the digestibility and chemical composition of perennial ryegrass (Lolium perenne L.). Plant and Soil, Madison, v.50, n.1, p.161-171, 1978.
- GOMES, A.; SOUSA, J.C.; RESENDE, A.M.; CURVO, J.B.E. Distribuição corporal e sazonalidade do berne (larva da Dermatobia hominis) em bovinos tratados ou não com flor de enxofre. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.23, n.8, p.825-829, 1988.
- GOODRICH, R.D.; MEISKE, J.C.; GUARIB, F.H. Utilization of urea by ruminants. World Review Animal Production, Roma, v.8, n.4, p.54-69, 1972.
- GORDON, G.L.R.; PHILLIPS, M.W. Comparative fermentation properties of anaerobe fungi from the rumen. In: NOLAN, J.V.; LENG, R.A.; DEMEYER, P. The roles of protozoa and fungi in ruminant digestion. Armidale : Australia. Penambul Books, 1989. p.127-138. Citado por Leng 1990.
- GRAÇA, D.S. Efeito da suplementação mineral sobre o desempenho e estado mineral de bovinos de corte no cerrado. Belo Horizonte : UFMG, 1979. p.66. Tese Mestrado.
- GUERREIRO, M.G.; VEGA, J.M.; LOSADA, M. The assimilatory nitrate reducing system and its regulations. Annual Review in Plant Physiology, Sevilla, v.32, p.169-204, 1981.

- HARWARD, M.E.; CHAO, T.T.; FANG, S.C. The sulfur status and sulfur supplying power of Oregon soils. Agronomy Journal, Madison, v.54, n.2, p.101-106, 1962.
- HARWARD, M.E.; REISENAUER, H.M. Reaction and movement of inorganic soil sulfur. Soil Science, Baltimore, v.101, p.326-335, 1966.
- HOEFT, R.G.; WALSH, L.M.; KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.37, n.3, p.401-404, 1973.
- HOGAN, J.P. Digestion and utilization of proteins. In: HACKER, J.S. Nutritional limits to animal production from pastures. Farnham Royal : CAB/CSIRO, 1984. p.245-257.
- HUNTER, R.A.; SIEBERT, B.D.; WEBB, C.D. The positive response of cattle to sulphur and sodium supplementation while grazing Stylosanthes guianensis is north Queensland. Australian Journal Experimental Agriculture and Animal Husbandry, Melbourne, v.19, n.100, p.517-521, 1979.
- JONES, M.B. Fertilization of annual grasslands of California and Oregon. In: MAYS, D.A. Forage fertilization. Madison : Soil Science Society of America, 1974. p.225-275.
- JONES, M.B. Total sulfur and sulfate sulfur content in subterranean clover as related to sulfur responses. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.26, n.5, p.482-484, 1962.
- JONES, M.B.; MARTIN, W.E. Sulfate-sulfur concentration as an indicator of sulfur status in various California dryland pasture species. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.28, n.4, p.539-541, 1964.
- JONES, M.B.; QUAGLIATO, J.L. Respostas de quatro leguminosas e da alfafa a vários níveis de enxofre. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia, Rio de Janeiro, v.5, p.359-363, 1970.

- JONES, M.B.; QUAGLIATO, J.L.; FREITAS, L.M.M. Respostas de alfafa e algumas leguminosas tropicais à aplicação de nutrientes minerais em três solos de campo cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia, Rio de Janeiro, v.5, p.209-214, 1970.
- JONES, R.K.; ROBINSON, P.J.; HAYDOCK, K.P. Sulphur-nitrogen relationships in the tropical legumes Stylosanthes humilis. Australian Journal of Agriculture Research, Melbourne, n.22, p.855-894, 1971.
- KANDYLIS, K. The role of sulphur in ruminant. Review. Livestock Production Science, Amsterdam, v.11, n.6, p.611-624, 1984.
- KENNEDY, P.M.; SIEBERT, B.D. The utilization of spear grass (Heteropogon contortus) III. The influence of the level of dietary sulphur on the utilization of spear grass by sheep. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, v.24, n.1, p.147-152, 1974.
- KILMER, V.J.; NEARPASS, D.C. The determination of available sulfur in soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.24, n.5, p.337-340, 1960.
- KLIEMANN, H.J. Contribuição ao estudo da disponibilidade de enxofre em solos brasileiros. Piracicaba : ESALQ, 1987. 85p. Tese Doutorado.
- LOPES, H.O.S. Suplementação mineral para ganho em peso. A Granja, Porto Alegre, n.447, p.22-25, 1985.
- LOPES, H.O.S.; PEREIRA, E.A.; VITTI, D.M.S.S.; ABDALLA, A.L.; SILVA FILHO, J.C. Utilização dos fosfatos de rocha como fonte de fósforo para bovinos. In: EMBRAPA (Brasília, DF). Relatório bienal (1986-1987) Convênio EMBRAPA/PETROFÉRTIL. Brasília : EMBRAPA/PETROFÉRTIL, 1988. p.161-167.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo : Ceres, 1980. 251p.
- MCDOWELL, L.R. Nutrition of grazing ruminants in warm climates. Orlando : Academic Press, 1985. 443p.

- McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M.; LOTT, W.L. Estudos sobre o enxofre em solos de São Paulo. New York : IBEC Research Institute, 1959?, 31p.
- McNAUGHT, K.J.; CHRISSTOFFELS, J.E. Effect of sulphur deficiency on nitrogen levels in pastures and lucerne. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, v.4, p.177-196, 1961.
- MITCHELL, C.C.; BLUE, W.G. Bahiagrass response to sulfur on a Aerie haplaquod. Agronomy Journal, Madison, v.81, n.1, p.53-57, 1989.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 4 ed. Ben : International Potash Institute, 1987. 687p.
- MONTEIRO, F.A.; CARRIEL, J.M.; MARTINS, L.; CASTRO, J.V.de; LIEM, T.H. Aplicação de níveis de enxofre, na forma de gesso, para cultivo de leguminosas forrageiras. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v.40, n.2, p.229-240, 1983.
- MORAES, E.de; ITALIANO, E.C.; PIENIZ, L.C.; OLIVEIRA, M.G.C. de. Mineralização de bovinos de corte no Estado do Amazonas. Manaus : EMBRAPA-UEPAE Manaus, 1985. 4p. (EMBRAPA-UEPAE Manaus. Comunicado Técnico, 43).
- MORAES, S.S. Untersuchungen zu Ablängigkeiten der Zink-Mangan-und Selengehalte in Lebeu-n von Rindern aus Ausgewahltes Regionen Brasiliens. Hannover : Chemischen Institute der Tierärlichen Hachschule, 1986. 131p. Tese Doutorado.
- NASCIMENTO, J.A.L.; MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I. Formas no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.4, n.3, p.131-135, 1980.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Animal Nutrition, (Washington, DC). Nutrition requirements of beef cattle. 6 ed. Washington : National Academy of Science, 1984. 90p.

- NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A.; HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus relationships in some Brazilian and Iowa soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.39, p.51-55, 1975.
- NORTON, B.W. Differences between species in forage quality. In: HACKER, J.B. Nutrition limits to animal production from pastures. Farnham Royal : CAB/CSIRO, 1984. p.89-110.
- PARFITT, R.L.; SMART, R.S.C. The mechanism of sulfate adsorption on iron oxides. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.42, n.1, p.48-50, 1978.
- PAIVA, P.J.R.; MACEDO, M.C.M.; BARROCAS, G.E.G. Respostas da cultivar Tanzânia-1 (Panicum maximum Jcq.) à aplicação de enxofre em solos do Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, Anais... Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.302-303.
- PAVAN, M.A.; VOLKWEISS, S.J. Efeitos do gesso nas relações solo-planta: princípios. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., 1985, Brasília, DF. Anais... Brasília, IBRAFOS/EMBRAPA/PETROFÉRTIL, 1986. p.107-118.
- POWELL, K.; REID, R.L.; BALASKO, J.A. Performance of lambs on perennial ryegrass, smooth brome grass, orchard grass and tall fescue pastures II. Mineral utilization, in vitro digestibility and chemical composition of herbage. Journal of Animal Science, v.46, n.6, p.1503-1514, 1978.
- PUMPHREY, F.V.; MOORE, D.P. Diagnosing sulfur deficiency of alfafa (Medicago sativa L.) from plant analysis. Agronomy Journal, Madison, v.57, n.4, p.364-366, 1965.
- QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; VAN RAIJ, B. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.6, n.3, p.189-194, 1982.

- RASGUE, C.A.; TAGGARD, K.L.; MORRIS, J.G.; GEORGE, M.R.; LARSEN, L.C. Conversion of fertilized annual forage to beef cattle liveweight gain. Agronomy Journal, Madison, v.80, n.4, p.591-598, 1988.
- RAYMENT, G.E.; WALKER, B.; KEERATI-KASIKORN, P. Sulphur in the agriculture of Northern Australian. In: BLAIR, G.J.; TILL, A.R. Sulphur in South-East Asian and South Pacific agriculture. S.l. : Australian Development Assistance Bureau, 1983. p.228-254.
- REES, M.C.; MINSON, D.J.; SMITH, F.W. The effect of supplementary and fertilizer sulphur on voluntary intake, digestibility, retention time in the rumen, and site of digestion of pangola grass in sheep. Journal Agriculture Science, London, v.82, p.419-422, 1974.
- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORRÊA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a brazilian savannah oxisol. Agronomy Journal, Madison, v.72, n.1, p.40-44, 1980.
- ROBSON, A.D. Mineral nutrients limiting nitrogen fixation in legumes. In: ANDREW, C.S.; KAMPRATH, E.J. Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Melbourne : CSIRO, 1978. p.277-293.
- ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R. Efeitos da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois latossolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.8, n.1, p.103-109, 1984.
- SHIRLEY, R.L. Sulphur in ruminant nutrition. In: LATIN AMERICAN SYMPOSIUM ON MINERAL NUTRITION RESEARCH WITH GRAZING RUMINANTS, 1976. Belo Horizonte. Proceedings... Gainesville : University of Florida, 1978. p.66-72.
- SHIRLEY, R.L.; MARIANTE, A. Enxofre na nutrição de ruminantes. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE PESQUISA EM NUTRIÇÃO MINERAL DE RUMINANTES EM PASTAGENS, 1976, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte : UFMG/UFV/ESAL/EPAMIG, 1976. p.130-147.

- SMITH, F.W.; DOLBY, G.R. Derivation of diagnostic indices for assessing the sulphur status of Panicum maximum var. Trichoglume. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Athens, v.8, n.3, p.221-240, 1977.
- SOUSA, J.C.de. Composição mineral de Brachiaria em relação a outras gramíneas. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO Brachiaria, 1986, Nova Odessa. Nova Odessa : Instituto de Zootecnia, 1986. p.IV/1-IV/22.
- SOUSA, J.C.de; GOMES, R.F.C.; SILVA, J.M.da; EUCLIDES, V.P.B. Efeito de suplementação mineral de novilhos de corte em pastagens adubadas de capim colônia. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.20, n.2, p.259-269, 1985.
- SPENCER, K. Growth and chemical composition of white clover as affected by sulphur supply. Australian Journal of Agriculture Research, Melbourne, v.10, p.500-509, 1959.
- SPENCER, K.; JONES, M.B.; FRENEY, J.R. Diagnostic indices for sulphur status of subterranean clover. Australian Journal of Agriculture Research, Melbourne, v.28, n.3, p.401-412, 1977.
- STEWART, B.A.; PORTER, L.K.; VIETS JUNIOR, F.G. Effect of sulfur content of status on rates of decomposition and plant growth. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.30, n.3, p.355-358, 1966.
- TABATABAI, M.A. Sulfur in agriculture. Madison : American Society of Agronomy, 1986. 321p.
- TABATABAI, M.A.; AL-KHAFI, A.A. Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.44, n.5, p.1000-1006, 1980.
- TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles. Agronomy Journal, Madison, v.64, n.1, p.40-44, 1972a.

- TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Forms of sulfur, and carbon, nitrogen and sulfur relationship, in Iowa soils. Soil Science, Baltimore, v.114, n.5, p.380-386, 1972b.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. 2 ed. London : MacMillan, 1975. 694p.
- VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, R.; PAIVA, P.J.R. Efeito enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio em milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 18., 1989, Guarapari. Resumos... Vitória : SEAG-ES/EMCAPA/EMATER-ES/SBCS, 1989. p.83-84.
- VAN EYS, J.E.; REID, R.L. Ruminant solubility of nitrogen and minerals from fescue and fescue-red clover herbage. Journal Animal Science, Champaign, v.65, p.1101-1112, 1987.
- VILELA, H.; SILVA, J.F.C.da; MARTINS, M.U.; CARNEIRO, G.G. Efeito do sulfato de sódio e farinha de carne em ração com melaço e uréia, sobre o ganho em peso de novilhos azebuados e meio-sangue H x Z em confinamento, durante o período da seca. Arquivos da Escola de Veterinária da UFMG, v.28, n.3, p.233-238, 1976.
- VITTI, G.C.; NOVAES, N.J. Adubação com enxofre. In: MATTOS, H.B.; WERNER, J.C.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. Calagem e adubação de pastagens. Piracicaba : Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.191-231.
- WERNER, J.C.; MONTEIRO, F.A. Respostas das pastagens e aplicação de enxofre. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17., 1988, Londrina. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina : EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.87-102.
- WERNER, J.C.; QUAGLIATO, J.L.; MARTINELLI, D. Ensaio do colônio com solo da "nordeste". Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v.24, p.159-167, 1967.
- WESTERMANN, D.T. Indexes of sulfur deficiency in Alfafa. II. Plant analysis. Agronomy Journal, Madison, v.67, n.2, p.265-268, 1975.

WINTER, W.H. Supplementation of steers grazing Stylosanthes hamata pastures at Katherine, Northern Territory. Australian Journal of Experimental Agriculture, Melbourne, v.28, n.6, p.669-682, 1988.

GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL
Secretaria de Estado de Planejamento e de Ciência e Tecnologia
Conselho Estadual de Ciência e Tecnologia - CECITEC

